

**ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СИЛОВЫХ  
ТРАНСФОРМАТОРОВ**Кунулеков Д.С.Научный руководитель: Муравлев О.П., д.т.н., профессор  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30  
Email: [dauletk13@mail.ru](mailto:dauletk13@mail.ru)

*Повышение эксплуатационной надежности силовых трансформаторов (СТ) приобретает все большую актуальность в связи со старением парка трансформаторов и выработкой определенного стандартами минимального (25 лет) срока их службы.*

Поэтому актуальной задаче повышения надежности и качества работы электрических систем является оценка эксплуатационной надежности для учета ее при проектировании и совершенствования системы технического обслуживания и ремонта трансформаторов.

Применение системы планово-предупредительного ремонта (ППР) обусловлено усложнением электрооборудования. Усложняется электрооборудование – повышаются требования производителя к эксплуатации, что приводит к дополнительной нагрузке на ремонтный персонал. Характерной особенностью системы ППР является формальный учет времени работы электрооборудования, которая берется за основу при формировании ремонтных циклов, приводящая к появлению обманчивого представления относительно истинного состояния по износу электрооборудования в период эксплуатации. Анализ технического состояния электрооборудования в период эксплуатации производится с акцентом на благополучие механической составляющей, являющихся одной из составляющих силовых трансформаторов. В современных реалиях эксплуатации работоспособность силовых трансформаторов поддерживается только с помощью ППР, данная система не учитывает реальных условий эксплуатации, не увязаны ремонтные циклы с показателями надежности, имея сравнительно высокую трудоемкость технического обслуживания. Одни группы узлов, деталей и сборочных единиц силового трансформатора выходят из строя до наступления плановых сроков ремонта, другие оказавшиеся в более выгодных условиях и полностью работоспособные, направляются на ремонт преждевременно, в соответствии с ППР. Что приводит к дополнительным затратам.

Решение обозначенной проблемы является актуальной и представляет научный и практический интерес [1].

**Расчет долговечности**

Исследования статических данных эксплуатации силовых трансформаторов выявляют значительный износ и уменьшение остаточного ресурса. Для анализа воспользуемся

статистическими данными, собранные более чем за 40-летний срок эксплуатации по предприятиям ТЭЦ-3 АО «Павлодарэнерго» и ТЭЦ-1 ОАО «Алюминий Казахстана», г. Павлодара. Проанализируем однородность исходного статистического материала для объединения всего объема данных в одну генеральную совокупность для проведения дальнейших исследований, значений показателей надежности с доверительной вероятностью 0,95. Для описания статистических данных воспользуемся законами: равномерный закон распределения и распределения Вейбулла[2].

На рис. 1 представлена гистограмма, аппроксимирующая плотность вероятности (1) распределения на отказ почти 90 силовых трансформаторов мощностью до 125000 кВА чей срок службы превышает 40 лет, по статистическим данным ТЭЦ АО «Павлодарэнерго» и ТЭЦ ОАО «АЛЮМИНИЙ КАЗАХСТАНА».

Постоянные параметры  $\alpha$  и  $\beta$  носят названия:  $\alpha$  - параметр формы и  $\beta$  - параметр масштаба. В экспоненциальном распределении постоянная одна -  $\lambda$ , в распределении Вейбулла их две, т.е. это распределение более сложное.

$$f_I(t) = 0.069 \cdot t^{-0.002} \cdot e^{-0.1598 \cdot t^{0.998}}, \\ 0 \leq t < 12, \text{ лет} \\ f_{II}(t) = 0.0099, \quad 12 \leq t < 23, \text{ лет} \quad (1) \\ f_{III}(t) = 0.165 \cdot 10^{-9} \cdot t^{-5.5485} \cdot e^{-0.025 \cdot 10^{-9} \cdot t^{6.5485}}, \\ 0 \leq t < 12, \text{ лет}$$

Получено, что для трех интервалов ресурсов (I – приработочный, II – нормальной эксплуатации, III – деградационный) наработки на отказ трансформаторов описывается распределением Вейбулла с параметрами  $\alpha_1 = 0,1598$  и  $\delta_1 = 0,998$  на интервале от 0...12 лет, на интервале 23...40 лет – также распределением Вейбулла, с параметрами  $\alpha_3 = 0,025 \cdot 10^{-9}$   $\delta_3 = 6,5485$ , а на промежуточном интервале 12...23 – равномерным законом распределения с коэффициентом  $\alpha_2 = 0,0099$ .

Проверка гипотезы об аппроксимирующих законах распределения по критерию  $\chi^2$  - Пирсона показала, что эмпирические и теоретические частоты отличаются незначительно и с доверительной вероятностью не ниже 0,95 по критерию согласия  $\chi^2$  – Пирсона, наработка на отказ анализируемого массива трансформаторов описывается двумя законами распределения по выражениям с плотностью вероятностей (1), представляя собой многостадийную модель накопления повреждений.

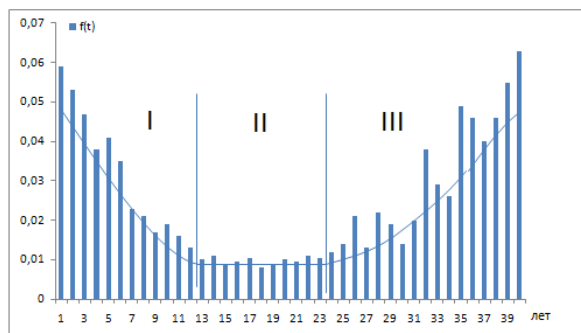


Рис. 1 - Гистограмма и плотность вероятности распределения на отказ силовых трансформаторов до 125000 кВА.

Среднее время безотказной работы СТ определено как математическое ожидание:

$$T = \int_{T=0}^{T_1=12} t \cdot 0.0692 \cdot t^{-0.002} \cdot e^{-(0.01598 \cdot t^{0.998})} dt + \int_{T_1=12}^{T_2=23} t \cdot 0.0099 dt + \int_{T_2=23}^{T_1=12} t \cdot 0.0165 \cdot 10^{-8} \cdot t^{6.5485} \cdot e^{-(0.025 \cdot 10^{-9} \cdot t^{6.5485})} dt = 21.34 \text{ года}$$

#### Расчет показателей надежности трансформаторов типа ТДТН-80000/110

Определим вероятность безотказной работы и среднюю наработку на отказ трансформаторов типа ТДТН-80000/110 времени  $t_i = 4000, 10000, 18000$  ч, если интенсивность отказов  $\lambda = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$ . Закон распределения отказов экспоненциальный.

При экспоненциальном законе распределения справедливы соотношения:

$$P(t) = e^{-\lambda t}; f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}; \lambda = \text{const}$$

Отсюда

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda} = \frac{10^4}{2.4} = 4166 \text{ ч};$$

$$P(4000) = \exp \left[ -\frac{4000}{4166} \right] = e^{-0.96} = 0.625$$

$$P(10000) = \exp \left[ -\frac{10000}{4166} \right] = e^{-2.4} = 0.427$$

$$P(18000) = \exp \left[ -\frac{18000}{4166} \right] = e^{-4.32} = 0.284$$

В результате полученных расчетных данных строим график зависимости вероятности безотказной работы от времени  $P(t) = e^{-\lambda t}$  трансформаторов типа ТДТН-80000/110, изображенный на рис. 2.

Определяем вероятность отказа:

$$Q_{4000} = 1 - P_{4000} = 0.375;$$

$$Q_{10000} = 1 - P_{10000} = 0.573;$$

$$Q_{18000} = 1 - P_{18000} = 0.716$$

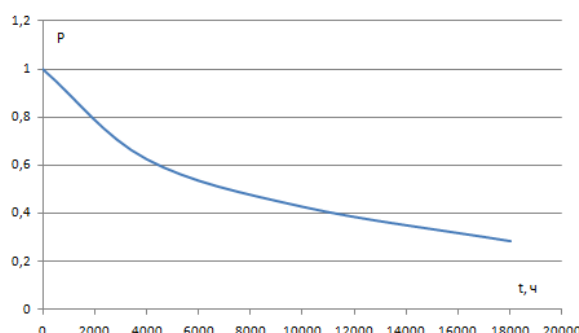


Рис. 2 – Вероятность безотказной работы трансформаторов

Таким образом, можно сделать вывод о том, что с увеличением времени эксплуатации трансформаторов (находящиеся на III деградационном интервале), вероятность безотказной работы будет снижаться согласно кривой рис.2.

#### Заключение:

При анализе силовых трансформаторов до 125000 кВА на вероятностную характеристику интенсивности отказов можно дать рекомендацию по ограничению эксплуатации трансформаторов сроком, когда на интервале деградации интенсивность отказов не будет превышать интенсивности отказов периода приработки. Тогда максимальный срок эксплуатации трансформаторов будет ограничен 30,97 годами, с целью повышения надежности работы и обновления эксплуатируемого парка трансформаторов. Среднее же время безотказной работы трансформаторов равно 21,34 года.

В результате полученных расчетных данных построили график зависимости вероятности безотказной работы от времени  $P(t) = e^{-\lambda t}$  трансформаторов типа ТДТН-80000/110 за двухлетний период, находящиеся в работе более 25 лет. Сделан вывод о том, что с увеличением времени эксплуатации трансформаторов вероятность безотказной работы будет снижаться согласно кривой рис.2

Полученные результаты будут использованы при проектировании, изготовлении и эксплуатации трансформаторов, а также для принятия решения при работе с оборудованием, исчерпавшим свой нормативный ресурс.

#### Список литературы

1. Ведяшкин М. В. Моделирование эксплуатационной надежности крановых асинхронных двигателей: Автореф. дис. канд. тех. наук.- Красноярск, 2012.- 19 с.
2. Сулейманова Л. М. Повышение эксплуатационных ресурсов силовых трансформаторов при обеспечении электромагнитной совместимости по перенапряжениям: Автореф. дис. канд. тех. наук. – Самара, 2006. – 23 с.